



**Università degli Studi di Padova**

Dipartimento di fisica e astronomia "Galileo Galilei"

Corso di Laurea in Ottica e optometria

**TESI DI LAUREA**

***Analisi della distribuzione delle ametropie e delle  
disfunzioni accomodative in una popolazione di  
studenti***

Relatore: Dott.ssa Dominga Ortolan

Correlatore: Dott. Luca Stanco

Laureanda: Anna Franceschini

Matricola: 1082436

Anno accademico: 2016/2017



*Esiste un solo bene, la conoscenza,  
e un unico male, l'ignoranza.*

*(Socrate)*



## **Indice**

<b>Abstract</b>	pag. 1
<b>Capitolo 1: ametropie e distribuzione nella popolazione</b>	
1.1 Premessa	pag. 3
1.2 Le ametropie	pag. 4
1.2.1 La miopia	pag. 4
1.2.2 L'ipermetropia	pag. 6
1.2.3 L'astigmatismo	pag. 7
1.3 Distribuzione dei difetti visivi	pag. 8
1.4 Distribuzione delle ametropie	pag. 9
1.5 Epidemiologia delle disfunzioni oculo-visive	pag. 11
1.6 Intervallo di visione nitida	pag. 12
<b>Capitolo 2: meccanismo dell'accomodazione</b>	pag.15
2.1 Cenni di anatomia e fisiologia oculare	pag. 15
2.2 Cenni storici: ricercatori e teorie	pag. 16
2.3 Triade accomodativa	pag. 18
2.4 Disfunzioni accomodative	pag. 19
2.4.1 Eccesso accomodativo	pag. 21
2.4.2 Insufficienza accomodativa	pag. 22
2.4.3 Inerzia accomodativa	pag. 22
2.5 Visual training	pag. 23

<b>Capitolo 3: valutare il sistema accomodativo</b>	pag. 25
3.1 L'ampiezza accomodativa	pag. 25
3.2 La flessibilità accomodativa	pag. 26
3.3 La retinoscopia dinamica	pag. 28
3.4 I cilindri crociati binoculari	pag. 28
3.5 ARP e ARN	pag. 29
3.6 Altri test utili all'analisi optometrica	pag. 31
<b>Capitolo 4: lo studio</b>	pag. 35
4.1 Raccolta dati e analisi	pag. 35
<b>Capitolo 5: discussione e conclusione</b>	pag. 45
<b>Capitolo 6: appendici</b>	pag. 49
<b>    bibliografia</b>	pag. 55

## Abstract

**Scopo:** valutare l'incidenza delle ametropie e delle disfunzioni accomodative in una popolazione di studenti universitari.

**Metodo:** per la distribuzione delle ametropie sono stati esaminati 97 soggetti di età compresa tra i 18 e i 30 anni mediante un questionario con 26 domande a scelta multipla. A 62 soggetti, è stato misurato il punto prossimo di rendimento, la distanza di lettura e la distanza di Harmon, il lag d'accomodazione attraverso la retinoscopia dinamica e i cilindri crociati binoculari, la flessibilità accomodativa attraverso i cicli del flipper  $\pm 2$  D svolto binoculare, l'ampiezza accomodativa e le ARP e le ARN.

**Risultati e conclusioni:** di questi 97 soggetti il 52,6 % porta correzione mentre il restante 47,4 % no. Dei 51 soggetti con correzione, il 19,2 % presenta solo miopia, l'1,9 % solo ipermetropia, il 9,6 % ipermetropia e astigmatismo, l'1,9 % solo astigmatismo mentre la gran maggioranza di loro, ben il 65,4 % presenta sia miopia che astigmatismo.

Il punto prossimo di rendimento del 41,9 % e del 46,8 % delle persone corrisponde, rispettivamente all'annebbiamento e al recupero, alla norma di 8-10 cm; il 21 % degli studenti rientra nella norma di 8-9 cicli al minuto di flessibilità accomodativa binoculare.

Il 61,3 % dei 62 soggetti analizzati presenta un eccesso di accomodazione. L'insufficienza accomodativa e l'inerzia invece risultano pari al 19,4 %



# Capitolo 1: ametropie e distribuzione nella popolazione

## 1.1 Premessa

Nel 2007, la "The World Health Organisation" ha stimato che nel mondo i miopi sfiorano i 158 milioni di persone ed è stata definita infatti come "un male del secolo". [T. Fricke, B. Holden, D. Wilson, G. Schlenker, K. Naidoo e S. Resnikoff, "Global cost of correcting vision impairment from uncorrected refractive error", Bull world Health Organ, 2012]. La miopia, però, non solo è molto diffusa ma numericamente continua a crescere; infatti, studi evidenziano che entro il 2020 i soggetti miopi toccheranno i 25 miliardi, cioè un terzo della popolazione mondiale [J. Kempen, P. Mitchell e K. Lee, "The prevalence of refractive errors among adult in the United States, Western Europe and Australia", Arch Ophthalmol, 2004].

Uno studio condotto da Young e Baldwin: "*A Study on an Eskimo Population of Barrow, Alaska*" (*Uno studio sulla popolazione Eschimese di Barrow, Alaska*) rilevò che negli anziani non era presente nessun miope, erano infatti tutti ipermetropi nomadi, cacciatori e pescatori (prevalenza quindi della visione da lontano). Nella seconda generazione, cioè nei figli degli anziani cacciatori venuti a contatto per la prima volta con la vita sedentaria della nostra cultura, è stata rilevata una prevalenza del 3% di miopia. Infine, nella terza generazione (cioè la prima generazione pienamente istruita e sedentaria), la prima indagine ha portato i seguenti risultati: 52% miopi, mentre la seconda indagine 72% miopi.

Per benessere visivo si intende uno stato in cui l'individuo può svolgere nel modo migliore i diversi compiti che è chiamato ad assolvere. Una visione confortevole non è data solo dal raggiungimento dei 10/10 come la maggior parte delle persone tende a credere, ma anzi da tutta una serie di circostanze che devono funzionare armoniosamente tra di loro. Prima tra tutte la visione binoculare, a seguire convergenza, riflesso visuo-posturale, stereopsi, motilità oculare e forie. Una percentuale significativa dei bambini in età scolare è affetto da "ridotta capacità

accomodativa”, per cui rifiutano lo studio prolungato, vengono considerati svogliati, irrequieti, iperattivi, etc. hanno problemi di “produttività scolastica” e di conseguenza tendono ad abbandonare gli studi. Un adeguato intervento correttivo attraverso lenti oftalmiche o sedute di visual training può annullare il problema e renderli pienamente operativi. Spesso si riscontra inoltre una correlazione tra funzione visiva e situazione posturale, come pure fra problematiche visive e problematiche posturali.

## **1.2 Le ametropie**

Un occhio con visione nitida all’infinito viene definito emmetrope; mentre un occhio la cui retina non ha un punto coniugato all’infinito è definito ametropo ed è un occhio affetto da errore refrattivo. La lunghezza dell’occhio quindi non è adeguata al suo potere diottrico totale.

Le ametropie si compensano otticamente e possono essere sia sferiche, in cui è presente una simmetria di rotazione intorno l’asse antero-posteriore: cioè lungo ogni meridiano stessa condizione refrattiva (miopia o ipermetropia); sia astigmatiche, in cui un punto oggetto non forma un punto immagine.

L’ametropia può essere inoltre refrattiva o assiale:

- se l’occhio ha una lunghezza nella norma, si attribuisce l’errore ad un potere diottrico inadeguato (ametropia refrattiva).
- se l’occhio invece ha un potere diottrico nella norma, si attribuisce l’errore ad una lunghezza inadeguata del bulbo oculare (ametropia assiale).

### **1.2.1. Miopia**

La miopia è la condizione refrattiva in assoluto più diffusa. In questo caso l’immagine di un oggetto puntiforme, posto sull’asse ottico all’infinito ad accomodazione rilassata, si forma prima del piano dei recettori retinici. Nella miopia il potere dell’occhio è troppo forte rispetto alla lunghezza assiale. Il termine miopia deriva dalla parola greca myopos che significa “socchiudere gli occhi”, un espediente effettivamente adottato dal miope per migliorare la nitidezza di ciò

che sta osservando; le palpebre, se “strizzate”, funzionano come un diaframma naturale permettendo un aumento della profondità di campo.

Non esiste un'unica causa responsabile di questa ametropia, la miopia ha infatti un'eziologia multifattoriale. Esiste sicuramente una predisposizione familiare alla miopia: nei figli di genitori miopi si osserva se non la presenza dello stesso difetto, una predisposizione a sviluppare il disturbo in età adulta. Inoltre, oltre alla predisposizione familiare, nei bambini la miopia può essere indotta anche da sforzi prolungati, come leggere con poca luce o con il testo troppo vicino al viso. Questo sembra essere confermato dal graduale aumento della prevalenza della miopia, in origine pressoché inesistente, nelle popolazioni aborigene che vengono avviate verso un'educazione di tipo occidentale. Anche le persone che per professione leggono a lungo o svolgono lavori di precisione, raggiungono gradi elevati di miopia.

Tra i segni principali che un soggetto miope ha è presente ovviamente la difficoltà nel riconoscere oggetti lontani con adeguata chiarezza, ma anche la tendenza a socchiudere gli occhi per rendere migliore la messa a fuoco soprattutto in condizioni di poca luce, la sfocatura delle immagini lontane, frequenti mal di testa, gli affaticamenti della vista, soprattutto quando l'occhio si sforza per distinguere oggetti lontani. Inoltre sono presenti alterazioni retiniche nelle miopie molto elevate, (> 6.00 D) come glaucomi e retinopatie.

Per quanto riguarda la compensazione ottica, per spostare il fuoco sulla retina è necessario modificare la vergenza dei raggi luminosi entranti: in particolare nel caso della miopia, si divergono usando lenti negative.

Una manifestazione posturale molto frequente nei soggetti con miopia è l'assunzione di una distanza di lavoro molto ridotta rispetto all'oggetto di studio (libro, quaderno, videoterminale ecc.). Questa distanza scaturisce dal sistema nervoso autonomo del soggetto che gestisce l'accomodazione (cioè il sistema di messa a fuoco, interno all'occhio).

La miopia fondamentale fa parte di un “circolo vizioso”: nel senso che, in genere, alla nascita l'occhio è ipermetrope e successivamente nell'infanzia va in contro ad un processo di emmetropizzazione. Quando il bambino cresce, anche l'occhio cresce. Nello stesso tempo a scuola svolge la maggior parte dei compiti a

una distanza prossimale, la distanza di lettura si potrebbe essere ridotta e come soluzione il sistema chiede un aumento dell'accomodazione. Infine, il campo visivo diventa molto più chiuso e la periferia quasi inesistente. A causa dell'ipermetropia periferica, l'occhio continua a crescere. L'allungamento si ferma quando perifericamente viene eliminata l'ipermetropia, ma a questo punto l'occhio potrebbe avere una miopia centrale. Il bambino quindi potrebbe reclamare di non riuscire più a vedere bene da lontano ed è necessaria la correzione ottica.

La storia potrebbe ripetersi: per compensare la correzione ottica, l'occhio si adatta e cresce. Se la correzione è permanente, verrà a formarsi un'ipermetropia periferica e quindi per compensare, l'occhio si adatta e cresce ancora. Il bambino si lamenta della visione sfuocata a distanza e gli viene data una correzione più forte e così via, il processo ricomincia da capo.

## **1.2.2. Ipermetropia**

L'ipermetropia è un particolare difetto di refrazione che determina la visione affaticante e non perfetta degli oggetti; all'opposto della miopia, la visione da vicino risulta in genere più difficoltosa. In questo caso l'immagine di un oggetto puntiforme, posto sull'asse ottico all'infinito ad accomodazione rilassata, si forma dopo il piano dei recettori retinici. Il termine ipermetropia deriva dal vocabolo greco *hypérmotropos* che significa infatti "eccede la misura, che passa oltre la misura". In realtà, ciò che il soggetto vede è un'immagine non perfettamente nitida e deve mettere a fuoco per migliorarne la percezione. L'occhio ipermetrope attua meccanismi per aumentare la propria potenza refrattiva (accomodazione). Il potere dell'occhio non accomodato è troppo debole rispetto alla lunghezza assiale e, se l'oggetto di sguardo non è all'infinito, l'immagine diventa ancora più sfuocata. Per poter essere rifratti sulla macula, i raggi incidenti sulla cornea devono arrivare già convergenti.

La principale causa dell'insorgenza ipermetropica può essere ricondotta alla condizione fisiologica assiale (processo di emmetropizzazione).

Nei soggetti giovani con buona capacità accomodativa, non sono presenti sintomi; mentre negli altri compare l'astenopia.

### 1.2.3. Astigmatismo

Le superfici rifrattive che non hanno la stessa curvatura lungo tutti i meridiani, non producono un punto immagine da un punto oggetto. Questo è chiamato astigmatismo: di un punto oggetto vengono cioè generate due immagini.

Per astigmatismi lievi la visione è pressoché normale, invece è ridotta negli astigmatismi elevati. Inoltre essa non migliora ad una specifica distanza, gli oggetti sono percepiti distorti o allungati e a lungo andare provoca anche astenopia data dall'uso frequente di accomodazione.

Classificazione dell'astigmatismo: l'astigmatismo può essere classificato sulla base di diverse considerazioni:

- Posizione delle focali:
  - a) astigmatismo semplice, nel quale si ha solo questo difetto visivo: il fuoco, anziché essere un solo punto, sarà una linea. Infatti sulla retina la messa a fuoco lungo un meridiano è diversa da quella lungo l'altro. A seconda della posizione della linea che si forma, il difetto si può a sua volta suddividere in: astigmatismo miopico semplice (un meridiano si focalizza sulla retina, mentre l'altro si focalizza davanti) e astigmatismo ipermetropico semplice (un meridiano si focalizza sulla retina, mentre l'altro si focalizza dietro);
  - b) astigmatismo composto, in cui il difetto visivo è associato ad un altro vizio refrattivo (miopia o ipermetropia). A sua volta si suddivide in: astigmatismo miopico composto (entrambi i meridiani si focalizzano davanti alla retina) e astigmatismo ipermetropico composto (entrambi i meridiani si focalizzano dietro alla retina);
  - c) astigmatismo misto in cui un fuoco cade davanti alla retina e l'altro dietro.
- Curvatura meridiani: l'astigmatismo dipende essenzialmente dalla differenza dei poteri o delle curvature in due meridiani. Le condizioni che possono verificarsi sono:
  - a) astigmatismo secondo regola: è il tipo più comune e in questo caso il meridiano orizzontale è più piatto (potere minore) e quello verticale è più curvo (potere maggiore);

- b) astigmatismo contro regola in cui il meridiano orizzontale è quello più curvo (potere maggiore) e quello verticale è più piatto (potere minore). È un astigmatismo tipico del cristallino;
  - c) astigmatismo obliquo in cui i meridiani principali giacciono vicini a 45° o 135°. Gli assi sono quindi compresi tra 30° / 60° e 120° /150°.
- In base alle cause strutturali;
  - e in base alle regolarità dei diottri, regolare (simmetria dei piani) o irregolare (asimmetria, trauma o patologia);

I fattori principali della comparsa di astigmatismo nell'occhio, sono la forma di cornea e cristallino e posizione di quest'ultimo.

L'astigmatismo è corretto usando lenti cilindriche. Il cilindro appropriato posto con il suo asse nella direzione corretta, eliminerà le differenze di potere tra i due meridiani creando così un'immagine stigmatica.

Nel 1939 negli Stati Uniti, solo il 33% delle lenti oftalmiche (per occhiali), prodotte dalle industrie era per miopia, contro il 67% per ipermetropia e/o presbiopia e quasi nessuno portava lenti a contatto. Nel 1968 le lenti per miopi prodotte erano diventate il 66% contro il 34% delle lenti per ipermetropi, non contando le numerose lenti a contatto per miopi allora largamente usate.

### **1.3 Distribuzione dei problemi visivi**

Per quanto riguarda l'incidenza sulla popolazione dei problemi visivi, si possono così suddividere:

- Problemi refrattivi
- Disfunzioni accomodative e di convergenza: 21% [Graham]
- Insufficienza di convergenza: 15% [Duke Elder]
- Eteroforie elevate: 13% [Graham]
- Un depistage visivo secondo una batteria di test degli optometristi dello Stato di New York, per quanto riguarda problemi oculomotori, accomodativi, binoculari e visuo-percettivi, su 1634 bambini il 53% presenta delle disfunzioni

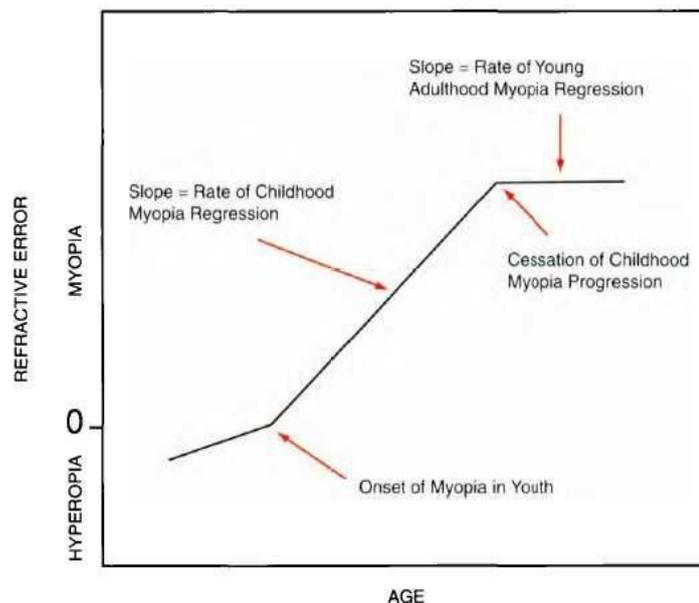
- Strabismo: 4% su 400 bambini [Graham], fino a 8% su 1100 bambini [Fletcher e Silverman]

L'incidenza di problemi visivi aumenta considerando popolazioni "particolari": tra i bambini con problemi d'apprendimento più dell'80% presenta delle carenze o disfunzioni in una o più abilità visive. Inoltre l'incidenza di problemi d'accomodazione e/o convergenza fusionale è maggiore del 50% nel soggetto dislessico. I cerebrolesici hanno una probabilità di strabismo pari al 50% e infine, tra gli operatori di videoterminali, più del 50% lamenta dei sintomi di astenopia o d'annebbiamento [National Academy of Sciences].

## 1.4 Distribuzione delle ametropie

La distribuzione degli errori refrattivi è legata all'età.

Dalla nascita ai 6 anni l'occhio cresce e da valori ipermetropici tende all'emmetropizzazione: le componenti oculari crescono e le relazioni armoniche tra esse determinano il valore refrattivo complessivo. Le ametropie si stabilizzano tra i 20 e 40 anni.



**Figure 3-6**

Generalized pattern of childhood myopia progression starting from about 5 or 6 years of age and extending into young adulthood. The slopes of childhood and young adulthood progression vary from one person to another, as do onset and cessation ages.

Le ametropie lievi (da -4 a +6 D) sembrano dipendere da errori refrattivi; mentre le ametropie più elevate (oltre -4 e +6 D) sembrano dipendere dalle lunghezze assiali.

Negli ultimi decenni in tutti i paesi del mondo la miopia è senza dubbio il difetto refrattivo che ha subito il più cospicuo incremento del numero di casi all'anno rispetto agli altri difetti visivi (ipermetropia ed astigmatismo) sia nel continente europeo ma soprattutto in quello asiatico.

Ad attestarlo è una ricerca australiana: in quella zona del mondo quasi nove bambini su dieci sono miopi e hanno, quindi, bisogno di portare le lenti. Nella stessa area fino a un bambino su cinque può essere considerato cieco o ipovedente. Già nel 2011 l'Università di Cambridge aveva notato che, per ogni ora trascorsa in più fuori casa ogni settimana, la probabilità di diventare miopi si riduce del 2% tra i giovanissimi. Secondo un altro studio i piccoli che trascorrono più tempo all'aria aperta tendono a sviluppare più difficilmente il difetto visivo. Nel 2009 uno studio pubblicato sul *British Journal of Ophthalmology* ed effettuato dal Singapore Eye Research Institute and Department of Community, indagò la correlazione tra le attività all'aperto e la miopia nei ragazzi adolescenti di Singapore. I partecipanti (1249 giovani), sono stati inclusi nell'analisi in quanto portatori di fattori di rischio per la miopia. Essi hanno compilato questionari che quantificassero le loro attività all'aperto e successivamente sono stati sottoposti a una visita oculistica e optometrica. Risultati: il tempo medio totale speso per attività all'aperto era 3,3 ore / giorno. Le ore di attività all'aperto totale (h / giorno) sono risultate essere un dato significativamente associato con la miopia, con odds ratio (misura dell'associazione tra due fattori) di 0,90; dopo aver classificato il tutto per età, sesso, etnia, tipo di scuola, libri letti a settimana, altezza, la miopia dei genitori, l'educazione dei genitori e quoziente di intelligenza. Inoltre, il tempo totale trascorso all'aperto è stato associato con la rifrazione significativamente inferiore miopica (coefficiente di regressione = 0,17) e più breve lunghezza assiale (coefficiente di regressione -0.06). Quindi si può giungere ad un'importante conclusione: i partecipanti che hanno trascorso più tempo all'aperto hanno meno probabilità di essere miopi. In questo modo, diverse attività all'aria aperta possono

proteggere contro lo sviluppo della miopia nei bambini, sostenendo i recenti dati australiani.

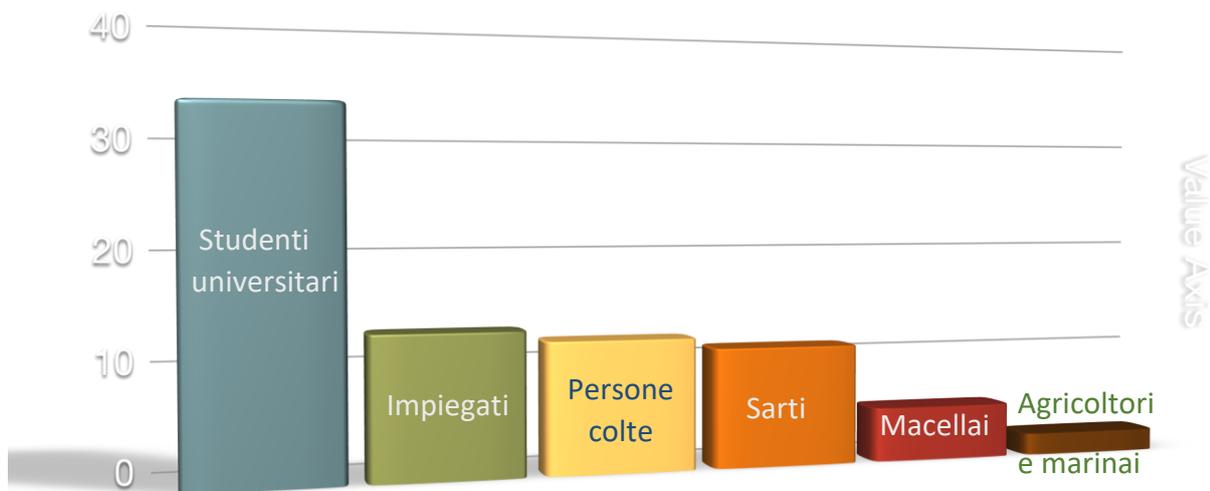
## 1.5 Epidemiologia delle disfunzioni oculo-visive in età evolutiva

Uno degli studi più importanti (1996) su una popolazione di 2025 bambini/giovani in età compresa tra 6 mesi e 18 anni mette in evidenza:

[Scheiman M, Gallaway M, Coulter R, e coll., Prevalente of vision and ocular disease conditions in clinical pediatric population. Journal of American Optometric Association, 1996; 67:193-202].

PROBLEMA	Età: dai 6 mesi ai 6 anni	Età: dai 6 ai 18 anni
Ipermetropia	33,0%	23,0%
Astigmatismo	22%	22%
Miopia	9,4%	20,2%
Disfunzioni Binoculari	5,0%	16%
Strabismo	21%	10%
Ambliopia	7,9%	7,8%
Disfunzioni accomodative	1,0%	6,0%
Condizioni patologiche	0,5%	2,0%

Un'altra considerevole ricerca [figura 2] di Marius Hans Tshering (1854 – 1939), anche se piuttosto datata, dimostra chiaramente che la miopia sembra associata a un prolungato lavoro da vicino. Nelle ascisse sono inserite le varie categorie e nelle ordinate gli assi dei valori cioè i valori miopici associati.



[figura 2] L'incremento sembra, quindi, legato alla durata del ciclo di studi (quindi allo sforzo della lettura) e all'attività svolta.

## 1.6 Intervallo di visione nitida

L'intervallo di visione nitida (IVN) è lo spazio-oggetto compreso tra punto prossimo e punto remoto quando entrambi sono in posizione reale. Il punto remoto (PR) è infatti la distanza massima di messa a fuoco corretta che per un occhio normale corrisponde all'infinito. Nell'emmetrope il PR è situato all'infinito ottico. Nel miope il punto remoto si trova nello spazio reale, a una distanza finita, e ha segno algebrico (-). Nell'ipermetrope il punto remoto si trova in posizione virtuale dietro all'occhio e ha segno algebrico (+). Il punto remoto, se non varia l'ametropia (A), non subisce spostamenti con il variare del potere accomodativo. Infatti la relazione che definisce la distanza tra il piano principale e il punto remoto è in relazione soltanto all'ametropia.

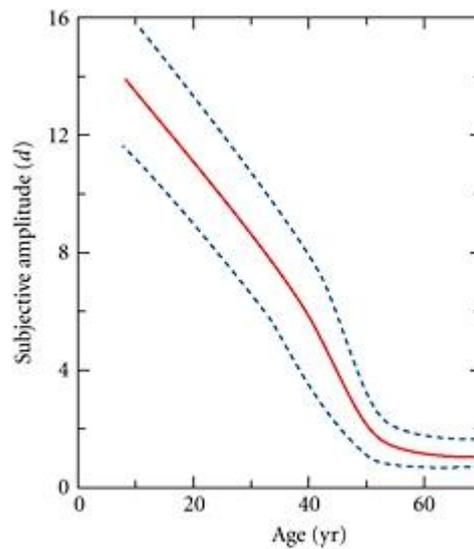
Il punto prossimo (PP) invece, è la distanza minima e dipende da fattori individuali, in particolare dall'età.

L'ampiezza accomodativa corrisponde al massimo livello di accomodazione che il soggetto riesce ad avere volontariamente e non (in questo caso con lenti

negative). Essa è data dall'intervallo tra punto prossimo (PP) e punto remoto (PR), espresso in diottrie.

$$A = PP - PR$$

Il punto prossimo varia con l'età: l'ampiezza accomodativa diminuisce progressivamente, all'età di 10 anni corrisponde a 13D mentre a 50 anni è solamente 2D. [figura 3]



[Figura 3: ampiezza accomodativa monoculare in base all'età. La linea rossa corrisponde a una media, mentre la linea più bassa è il minimo e quella più alta il massimo.



## **Capitolo 2: meccanismo dell'accomodazione**

Il modello di Scheiman e Wick (2002) scompone la funzione visiva in varie abilità, permettendo al professionista di esplorarne singolarmente i vari aspetti, semplificandone così la comprensione e la valutazione. Un'analisi completa della funzione visiva deve quindi verificare tre aree: la prima riguarda l'integrità della funzione visiva, in particolare la verifica della salute oculare, dell'acuità visiva e della condizione refrattiva. La seconda prende in considerazione l'efficienza visiva, quindi analizzare le componenti accomodativa, binoculare e oculomotoria e successivamente la terza concerne il processamento delle informazioni visive [Scheiman, Wick, 2002].

### **2.1 Cenni di anatomia e fisiologia oculare**

L'accomodazione è definita come la capacità dell'occhio di riuscire a mettere a fuoco sul piano retinico un'immagine nitida posta a diverse distanze. Questo meccanismo è possibile essenzialmente grazie a tre strutture: cristallino, fibre zonulari e muscolo ciliare.

Il cristallino è la lente naturale dell'occhio. È flessibile anche se questa capacità diminuisce con l'avanzare dell'età, ma soprattutto è trasparente consentendo la rifrazione della luce la quale, attraversandolo, arriva sulla retina. Il cristallino quindi varia la curvatura della sua faccia anteriore aumentando il suo potere refrattivo.

Responsabile della variazione di curvatura del cristallino è il muscolo ciliare. Esso è situato nella pars plicata tra sclera e processi ciliari. Questo consente, tramite l'attività delle sue componenti radiale (muscolo di Muller) e circolare (muscolo di Brucke) di modificare la tensione delle fibre zonulari, e di conseguenza di modificare indirettamente la forma del cristallino, innescando l'accomodazione.

Infine, appunto, le fibre zonulari sono fibre che tengono in sospensione il cristallino e che applicando una certa tensione ne modificano la forma, attivando il meccanismo di accomodazione.

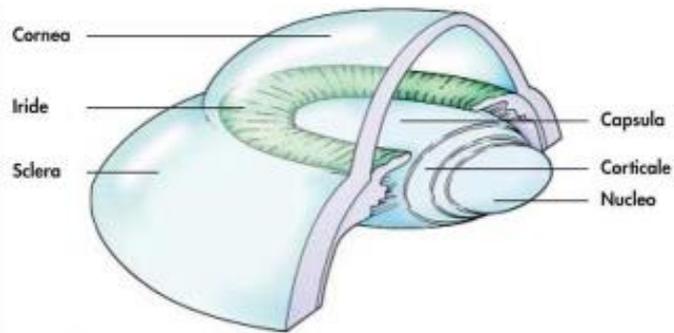


Figura 1: sezione del cristallino

[Orzalesi, Ofalmologia Delfino Antonio Editore, 2009]

Per quanto riguarda l'innervazione del muscolo ciliare, essa viene coordinata dal Sistema Nervoso Autonomo (SNA). In particolare, la sua branca parasimpatica innerva la componente circolare ai fini di una contrazione dell'accomodazione, mentre la sua branca simpatica innerva la componente radiale ai fini di un rilassamento dell'accomodazione.

Esistono inoltre, due vie che lo stimolo accomodativo può avere una afferente e l'altra efferente.

La via afferente dell'accomodazione è data da almeno tre stimoli esterni:

1. sfuocamento dell'immagine retinica centrale
2. aberrazione cromatica oculare
3. coscienza della prossimità dell'oggetto, grandezza dell'oggetto.

La via efferente parte dai nuclei di Edinger - Westphal. Le fibre raggiungono il ganglio ciliare dove fanno sinapsi. Le fibre post gangliari vanno ad innervare il muscolo ciliare.

## 2.2 Cenni storici: ricercatori e teorie

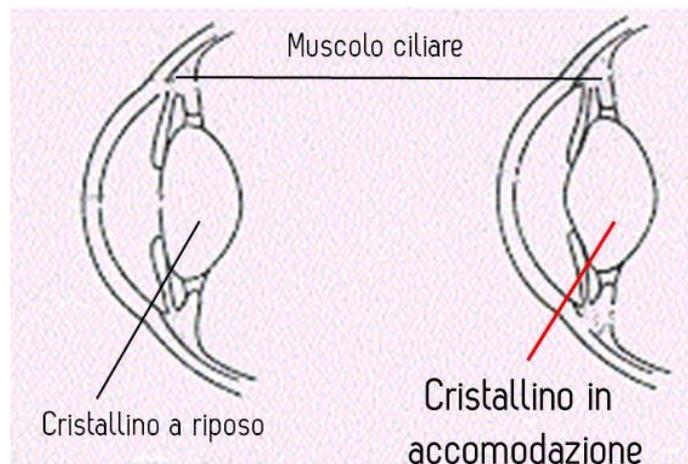
Fin dal XVI secolo, molti studiosi tra i quali Keplero, Huygens, Young e Purkinje si interrogarono su come sia possibile che l'occhio umano sia in grado di attuare il meccanismo dell'accomodazione.

Ma che cosa consente al cristallino di adattare la sua curvatura?

Una spiegazione generale ma esaustiva, fu data alla metà del XIX secolo dal medico tedesco Hermann von Helmholtz nel suo Handbuch der physiologischen Optik. Helmholtz scoprì che il cristallino è tenuto sospeso da filamenti che si diramano dal muscolo ciliare. Helmholtz avanzò l'ipotesi che quando l'occhio è a fuoco all'infinito (che per l'uomo inizia a circa sei metri di distanza), il muscolo ciliare si rilassi e, quindi, si espanda: il diametro del cristallino raggiunge quindi il suo massimo valore. In queste condizioni, dette "stato di disaccomodazione", la capacità del cristallino di deviare la luce è minima. La capacità di rifrazione combinata di cornea, umor acqueo, cristallino disaccomodato e corpo vitreo è quella adatta alla messa a fuoco nella fovea dell'immagine di un oggetto lontano. Quando l'occhio cerca di mettere a fuoco un punto vicino, il muscolo ciliare si contrae, si sposta in avanti e il cristallino aumenta il suo spessore, la sua superficie anteriore accentua la curvatura e il diametro equatoriale diminuisce. Questo processo è controllato con precisione affinché l'aumento del potere di rifrazione sia esattamente quello necessario per mettere a fuoco oggetti posti a meno di sei metri.

Il cristallino quindi è disaccomodato quando l'occhio mette a fuoco all'infinito e il muscolo ciliare è completamente rilassato. Il cristallino è invece in stato di massima accomodazione quando l'occhio mette a fuoco l'oggetto più vicino distinguibile e il muscolo ciliare è fortemente contratto.

Il modello del processo di accomodazione sviluppato da Helmholtz è oggi ampiamente accettato.



[Figura 2: meccanismo dell'accomodazione]

## 2.3 Triade accomodativa

Il meccanismo accomodativo comporta sempre anche altri due processi fondamentali: la convergenza binoculare e la miosi pupillare. Questi tre processi insieme danno vita alla cosiddetta "triade accomodativa" [Hofstetter et al, 2000] e si presentano assieme durante la visione prossimale.

La pupilla è la più indipendente e può variare molto in relazione all'accomodazione.

In particolare, l'accomodazione e la convergenza sono strettamente legate tra loro: il legame CA/C (Convergence Accomodation/Convergence) indica la quantità di accomodazione (in diottrie) indotta da uno stimolo di convergenza (in diottrie prismatiche).

Invece, il legame definito dal rapporto AC/A (Accommodation Convergence/Accommodation) indica la quantità di convergenza accomodativa (in diottrie prismatiche) indotta da uno stimolo accomodativo (in diottrie).

È stato dimostrato da Fry (1937) ed Hofstetter (1945) che ogni diottria d'accomodazione è accompagnata da un certo ammontare di convergenza.

In un emmetrope o in caso di vizio di rifrazione adeguatamente compensato con lenti correttive, lo stimolo accomodativo per un oggetto all'infinito è zero. Se, nell'osservazione di un oggetto all'infinito, gli assi visivi sono paralleli dopo aver

eliminato ogni stimolo di fusione (ortoforia), anche lo stimolo di convergenza è nullo. D'altra parte, nell'osservazione di un oggetto a 40cm, lo stimolo accomodativo è 2,50 D e quello in convergenza, per una distanza interpupillare nella norma di 60 mm, è 15 dp.

Il rapporto AC/A "normale" è quindi:  $\text{conv. acc.} / \text{acc.} = 15 / 2.50 = 6/1$ .

Un basso valore di AC/A porta alla ipo-convergenza; mentre un alto AC/A porta alla iper-convergenza e può essere associato allo strabismo convergente.

Comunque sia, tanto minore è la distanza di osservazione, tanto maggiore sarà la quantità di accomodazione e di convergenza necessarie. A questi due meccanismi è associato uno sforzo muscolare proporzionale alla quantità di accomodazione e di convergenza richieste in funzione alla distanza di osservazione.

La valutazione delle forie e del conseguente valore AC/A è molto importante in quanto un soggetto avente un AC/A nella norma (4/1) può essere valutato anche per quanto riguarda la parte accomodativa (e quindi valutare eventuali disfunzioni) mentre un AC/A non nella norma comporta disfunzioni di tipo binoculare come un'insufficienza di convergenza, una pseudo insufficienza di convergenza, un eccesso di convergenza e un'exoforia di base o un'esoforia di base.

## 2.4 Disfunzioni accomodative

La valutazione dello stato accomodativo può avvenire determinando:

Ampiezza accomodativa	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Metodo Donders: push up monoculare</li> <li>• Metodo OEP: lenti negative</li> </ul>
Flessibilità accomodativa	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Flipper <math>\pm 2.00</math> D</li> </ul>
Risposta accomodativa	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Retinoscopia dinamica</li> <li>• Retinoscopia M.E.M.</li> </ul>

Secondo l'American Optometric Association, una volta raggruppati i test da fare è possibile identificare la sindrome caratteristica. Le anomalie accomodative identificabili nel caso in cui le forie abbiano dei valori nella norma sono:

- Insufficienza accomodativa
- Eccesso di accomodazione
- Inerzia accomodativa



La prima tappa nella diagnosi optometrica è costituita dalle forie (lontano e vicino) e dal rapporto AC/A.

- Tipo di foria
- Comparare con le norme dei test delle forie
- Analizzare il gruppo dei test corrispondenti alla sospetta diagnosi

TEST	NORME	INSUFFICIENZA ACCOMODATIVA	ECESSO ACCOMODATIVO	INERZIA ACCOMODATIVA
RETINOSCOPIA DINAMICA	LAG>+0,50 A LAG<+0,50 B	ALTO	BASSO	
FORIA INDOTTA A DISTANZA	0,5 EXO			

FORIA INDOTTA DA VICINO	6 EXO			
C.C. BINO	ADD>0,50 A ADD<0,50 B	ALTO	BASSO	
C.R.P.	15	ALTO	BASSO	BASSO
C.R.N.	15	BASSO	ALTO	BASSO
A.R.P.	-2,00/-3,00	BASSO	ALTO	BASSO
A.R.N.	+1,75/+2,25	ALTO	BASSO	
P.P.R.		NORMALE	NORMALE	NORMALE
AC/A		NORMALE	NORMALE	NORMALE
FLIPPER MONO		- LENTO	+ LENTO	+ e - LENTO
FLIPPER BINO		- LENTO	+ LENTO	+ e - LENTO

[tabella 1: Formenti M., O. D.]

La seconda tappa nella diagnosi optometrica è costituita dalla valutazione dello stato accomodativo.

### 2.4.1. Eccesso accomodativo

I soggetti che presentano un eccesso di accomodazione soffrono spesso di affaticamento visivo da vicino con sensazione di bruciore e pesantezza per l'uso prolungato nel tempo del muscolo ciliare e del cristallino. Mostrano inoltre astenopia, annebbiamento a distanza e soprattutto nel passare dalla visione da vicino a quella da lontano (durante o dopo lo studio), una distanza di lettura ridotta ben inferiore alla distanza di Harmon e una possibile diplopia.

Per quanto riguarda la valutazione optometrica, si riscontra un'acuità visiva ridotta a distanza, una proiezione miopica, una bassa accettabilità di positivo (in quanto incapace di rilassare l'accomodazione) e un valore dell'ARN ridotta rispetto all'ARP. Anche nella valutazione della flessibilità accomodativa con i flipper  $\pm 2,00$  D risulterà difficoltoso il rilassamento accomodativo e quindi più lenta la visione attraverso la lente positiva.

La correzione optometrica dell'eccesso accomodativo prevede sull'utilizzo di prismi gemellati verticali di 2,00 D a base bassa e sull'uso di un piano inclinato di 20° per favorire una distanza di lettura più in armonia con la distanza di Harmon. Inoltre il visual training permette di lavorare su aree riguardanti principalmente la flessibilità accomodativa monoculare, bioculare e binoculare e la motilità oculare.

## **2.4.2. Insufficienza accomodativa**

In questo caso i soggetti possono presentare affaticamento visivo durante l'impegno da vicino, astenopia, sensazione di bruciore e lacrimazione e occasionalmente annebbiamento visivo da lontano o da vicino. Si può trattare di ipermetropia latente o non corretta. Il soggetto potrebbe avere una buona accettabilità di positivo (in quanto incapace di accomodare con lenti negative), un'ampiezza accomodativa ridotta per lo stesso motivo ed è spesso associato ad un eccesso di convergenza se il valore dell'AC/A è alto. Al flipper  $\pm 2,00$  D avrà chiaramente maggiori difficoltà con le lenti negative.

Per quanto riguarda la correzione optometrica, essa si basa sull'utilizzo di lenti positive, lenti bifocali e prismi gemellati verticali a base bassa di 2,00 D.

Anche qui il visual training potrebbe fornire un valido supporto, andando a migliorare la flessibilità accomodativa monocolare, bioculare e binoculare e la motilità oculare.

## **2.4.3. Inerzia accomodativa**

I soggetti che sono caratterizzati da questa disfunzione accomodativa, soffrono spesso di affaticamento visivo da vicino, astenopia, annebbiamento a distanza, riduzione REVIP e in alcuni casi possibile diplopia.

Questi soggetti presentano bassa accettabilità di positivo, hanno le riserve fusionali basse e i valori dell'ARP e ARN ambedue bassi. Al Flipper  $\pm 2,00$  D presentano difficoltà con entrambe le lenti: sia quelle positive che quelle negative.

La correzione optometrica prevede l'utilizzo anche in questo caso dei prismi gemellati a base bassa di 2,00 D; mentre il visual training lavora in particolare sulla flessibilità accomodativa monocolare, bioculare e binoculare e sulla motilità oculare.

## 2.5 Visual training

Il visual training rappresenta l'approccio clinico per la correzione e trattamento dei problemi visivi nonché il miglioramento e l'ottimizzazione delle abilità visive per permettere all'individuo di operare al suo più alto livello di rendimento al lavoro e nello sport.

Implica una serie di sedute pianificate in studio sotto la supervisione di un optometrista e di esercizi da fare a domicilio. Il tipo di allenamento e la strumentazione sono in relazione alla natura ed alla severità della condizione visiva. L'approccio del VT vuole portare il soggetto ad integrare l'informazione visiva più velocemente e nel modo più accurato ed efficiente. I problemi visivi rieducabili includono le disfunzioni oculomotorie, le disfunzioni binoculari e accomodative e certe difficoltà visuo-percettivo-motorie e a supporto di tutti quei disturbi in cui la componente visiva gioca un ruolo. Con un approccio comportamentale, lo scopo del visual training sarebbe quello di aiutare il soggetto a sviluppare una maggiore consapevolezza di sé stesso e perciò di potere integrare maggiore informazione in un minor tempo e con un minimo sforzo. Ciò avviene mediante l'allenamento della concentrazione.

In particolare, un programma di VT per lo sport è molto spesso da tutte le squadre professionistiche di football, hockey baseball e basket degli Stati Uniti; in Europa ci sono esempi nel mondo del calcio come il Barcellona, il Bayern Monaco e il Manchester United per citarne alcune. In Italia ci sono Valentino Rossi e altri piloti del circuito motomondiale, la nazionale di pugilato italiana e alcune squadre dei campionati maggiori di volley e basket.

L'American Optometric Association definisce il visual training:

*"The remedial and enhancement procedures used to modify visual performance. Procedures involving the arrangement of the conditions for learning through the use of prescribed visual environments and tasks, the use of lenses and prisms, and the use of specific equipment for developing or changing selected visual functions. Any visual behavior, anomalies, or physiological processes which can be improved or controlled as a function of specific practice or training procedures are within the scope of visual training".*



## Capitolo 3: valutare il sistema accomodativo

L'accomodazione è misurata in diottrie (D) e corrisponde alla distanza di fissazione in metri alla meno 1 (reciproco).  $D = \frac{1}{f(m)}$

### DETERMINAZIONE DELLA DOMANDA ACCOMODATIVA

$$D = 100 \text{ (cm)} / f \text{ (distanza focale)}$$

Distanza		Accomodazione
3 metri	100 / 300	0,33 D
2 metri	100 / 200	0,50 D
50 cm	100 / 50	2,00 D
40 cm	100 / 40	2,50 D
33 cm	100 / 33	3,00 D
20 cm	100 / 20	5,00 D

### Test che valutano il sistema accomodativo:

1. Ampiezza accomodativa monoculare
2. Flessibilità accomodativa monoculare e binoculare
3. Retinoscopia dinamica
4. CC binoculare
5. ARP e ARN

### 3.1 L'ampiezza accomodativa

L'ampiezza accomodativa secondo il metodo OEP si svolge monocolarmente al forottero con la distanza interpupillare per vicino ad una distanza di 33 cm tuttavia il risultato viene interpretato come se fosse stato eseguito a 40 e questo perché le lenti negative rimpiccioliscono l'immagine. La mira utilizzata è la riga dello 0,62 di Jeager. Per quanto riguarda il procedimento, si chiede al soggetto di leggere costantemente le lettere del test e nel frattempo si riduce il potere, di 0,25 D in

0,25 D, fino a che il soggetto legge con difficoltà. A questo punto prendere nota del risultato sottraendo il valore iniziale (il valore del soggetto) e aggiungendo 2,50 D necessarie per focalizzare il test a quella determinata distanza.

Variazione dell'ampiezza accomodativa secondo l'età. [Donders]

Età (anni)	Ampiezza accomodativa (D)
10	14,00
15	12,00
20	10,00
25	8,50
30	7,00
35	5,50
40	4,50
45	3,50
50	2,50
55	1,75
60	1,00
65	0,75
70	0,25
75	0,00

### 3.2 La flessibilità accomodativa

Con i flipper accomodativi [figura 1] si valuta in l'abilità del soggetto nel mantenere la visione nitida durante la stimolazione e l'inibizione dell'accomodazione (flessibilità accomodativa). Viene misurata utilizzando dei flipper con lenti sferiche positive e negative di  $\pm 2$  D. Il soggetto porta la sua correzione, se ce l'ha, ed è quindi emmetropizzato. Legge un testo alla distanza di 40 cm e l'esaminatore gli pone davanti agli occhi i flipper. Entrambe le lenti produrranno un iniziale sfuocamento e il compito del soggetto è quello di confermare all'esaminatore non appena il testo diventa nitido. A questo punto si gira il flipper in modo da cambiare

lo stimolo accomodativo e così via. La performance viene cronometrata calcolando i cicli per minuto. Un ciclo corrisponde a due cambiamenti di lenti (+2,00 D e -2,00 D). I valori presi come riferimento possono essere valutati secondo delle norme formalizzate da Scheiman che nel 1988 valutò 542 soggetti e suddivise i dati in base all'età. I valori monoculari trovati sono:

Età (anni)	Cicli al minuto	Deviazione standard
6	5,5	± 2,5
7	6,5	± 2
Tra gli 8 e i 12	7	± 2,5
Tra i 13 e i 30	11	± 5

Mentre i valori binoculari sono:

Età (anni)	Cicli al minuto	Deviazione standard
6	3	± 2,5
7	3,5	± 2,5
Tra gli 8 e i 12	5	± 2,5
Tra i 13 e i 30	10	± 5

Terminato il test, l'esaminatore deve prendere nota di alcune importanti informazioni: prima di tutto eventuali difficoltà a focalizzare attraverso lenti positive o negative o entrambe, ogni cambiamento posturale durante il test (come l'allontanamento o l'avvicinamento) e ogni sensazione o sintomo riferito dal soggetto.



Figura 1: flipper accomodativi  $\pm 2,00$  D

### 3.3 La retinoscopia dinamica

La retinoscopia dinamica serve a misurare la reazione accomodativa ad uno stimolo accomodativo a distanza di lettura (a 40cm o distanza di Harmon).

La norma corrisponde al LAG accomodativo di + 0,50 (cioè la prima lente che permette la neutralizzazione del riflesso retinoscopico rappresenta un'addizione di +0,50 D alla retinoscopia statica). Ciò è valido con mire accomodative facili da leggere. In caso di lettura di brani ad "alto contenuto intellettuale" è normale che l'accomodazione intervenga e tenda a coincidere con il valore teoricamente necessario.

Il lag accomodativo è la differenza tra il valore d'accomodazione teoricamente richiesto e quello effettivamente esercitato. Se il lag è maggiore di +0,50 D è considerato un valore alto, mentre se è minore di +0,50 D è considerato basso.

### 3.4 I cilindri crociati binoculari

Con questo test si procede alla distanza di 40 cm, nel forottero la distanza interpupillare per vicino e le lenti del soggettivo trovate precedentemente con un'aggiunta di +2,00 D per l'esecuzione del test. Vanno inseriti inoltre i cilindri crociati con asse negativo a 90°. Per quanto riguarda la mira, si usa un reticolo

composto di linee orizzontali e verticali. Per il procedimento: dopo l'aggiunta delle due diottrie il soggetto dovrebbe vedere le linee verticali più nere. Ridurre quindi binocularmente il potere convesso fino ad uguaglianza delle linee orizzontali e verticali.

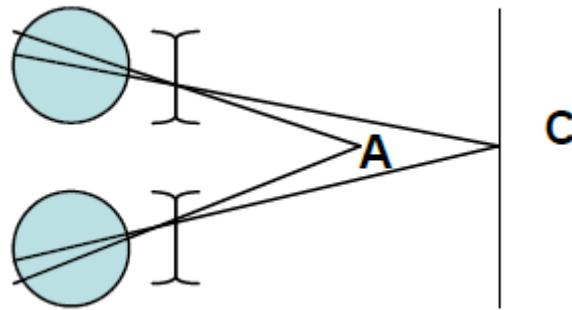
Il valore considerato nella norma è +0,50 di addizione rispetto al soggetto, con una deviazione standard di  $\pm 0,50$ . Se il valore è maggiore +0,50 il lag è alto (insufficienza d'accomodazione), invece se il valore è minore di +0,50: lag è basso (eccesso d'accomodazione).

### **3.5 ARP e ARN**

- con l'accomodazione relativa positiva: lo scopo in questo caso è valutare l'abilità a stimolare l'accomodazione in condizioni binoculari e a convergenza costante. Si esegue al forottero con la distanza interpupillare per vicino, ad una distanza di 40 cm e inseriti all'interno i dati della lente di controllo (che nell'ipermetrope e nell'emmetrope corrisponde al soggetto, nel miope alla correzione abituale o ai cilindri crociati di Jackson e nel presbite ai JCC). La mira utilizzata è la tavola ridotta di Snellen. Si chiede quindi al soggetto di leggere l'ultima riga del test, mentre vengono aggiunte lenti negative (potere concavo) di 0,25 D in 0,25 D fino ad annebbiamento totale.

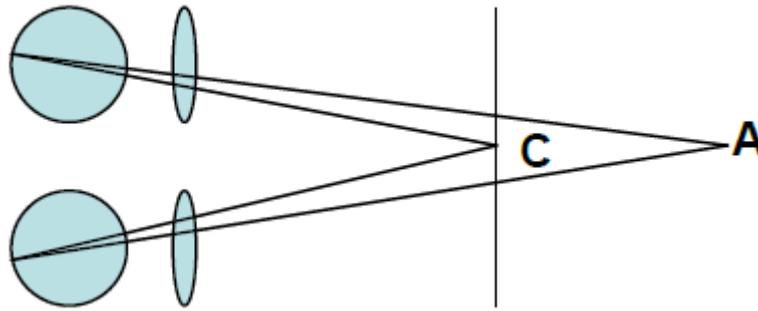
Nel momento in cui si inseriscono lenti negative, si stimola l'accomodazione, ma anche l'accomodazione legata alla convergenza. Per mantenere la fissazione binoculare viene usata la convergenza negativa fusionale. Se si continua ad aggiungere lenti negative (e quindi continuando ad aumentare l'accomodazione legata alla convergenza) si arriva al termine massimo della CNF. A questo punto, un ulteriore stimolo, non farebbe altro che produrre diplopia.

I valori medi dell'ARP sono -2,00/-2,25 D con una deviazione standard di  $\pm 1,00$  D ma possono raggiungere valori molto alti in soggetti con elevata ampiezza accomodativa. Se il valore trovato è minore di 2,25 D il soggetto ha un'insufficienza accomodativa, se invece è maggiore di 2,75 D ha un eccesso di accomodazione.



- con l'accomodazione relativa negativa: in questo caso l'obiettivo è valutare l'abilità a rilassare l'accomodazione e nello stesso tempo stimolare la convergenza al fine di mantenere la visione binoculare singola e nitida. Anche questo test si svolge a 40 cm, con la DI per vicino, nel forottero la lente di controllo e la mira è sempre la tavola ridotta di Snellen. Si chiede sempre al soggetto di leggere l'ultima riga del test, mentre vengono aggiunte lenti positive (potere convesso) fino all'annebbiamento. L'aggiunta di lenti positive provoca un annebbiamento retinico immediato. Contemporaneamente al rilassamento accomodativo, avviene anche una diminuzione della convergenza indotta dall'accomodazione legata alla convergenza. In questo caso la visione singola è mantenuta dalla convergenza fusionale positiva; una volta esaurita anche questa, avviene la diplopia.

I valori dell'ARN presi come riferimento sono compresi tra +1,75/+2,25 D con una deviazione standard di  $\pm 0,50$  D. Se il valore trovato è minore di +1,75 si tratta di un eccesso d'accomodazione. Mentre se il valore trovato è maggiore di +2,25 si tratta di un'insufficienza d'accomodazione.



### 3.6 Altri test utili all'analisi optometrica

- Punto prossimo di rendimento: è un punto prossimo di accomodazione misurato binocularmente. Lo scopo è misurare in diottrie l'abilità della persona a cambiare la messa a fuoco del cristallino in risposta a uno stimolo che si avvicina al piano facciale. Caratteristiche: correzione a distanza, mira lettere d'A.V. massimale per il soggetto e illuminazione normale. Per procedere si fa sedere il soggetto confortevolmente e si fa tenere la mira a lunghezza delle braccia e leggermente sotto il meridiano orizzontale. Far leggere le lettere ad alta voce e avvicinare il test fino ad annebbiamento delle lettere del test. Il punto prossimo di rendimento corrisponde alla distanza (in cm) alla quale le lettere appaiono annebbiate.
- Il rapporto AC/A: l'AC/A può essere misurato utilizzando le forie con il sistema del gradiente o con il sistema calcolato. Al fine di valutare le disfunzioni accomodative, l'AC/A dev'essere nella norma; mentre se il valore trovato è alto o basso è necessario valutare le disfunzioni binoculari.
- Il riflesso visuo-posturale: secondo J. P. Lagacè (1986) corrisponde a quella distanza rappresentante l'equilibrio riflesso dell'individuo durante un impegno prolungato da vicino. La distanza abituale di lavoro è funzione di integrazione percettiva e motoria. Fisiologicamente, il soggetto opera a quella distanza nello spazio nella quale l'integrazione percettiva è garantita e dove l'integrazione

motoria è sufficiente a soddisfare le esigenze del lavoro con un consumo minimo di energia. In questo frangente acquista notevole importanza la cosiddetta distanza di Harmon: essa rappresenta la distanza minima alla quale si dovrebbe eseguire un lavoro da vicino. Viene misurata calcolando la distanza che separa il gomito ed il metacarpo medio lungo la superficie esterna. Lo studio di Darell Boyd Harmon, pedagogo, sulla relazione esistente tra postura e attività visiva da vicino in condizioni ambientali ottimali, eseguita su 40 000 soggetti con visione normale, ha evidenziato che la differenza tra queste misurazioni non eccede di +/- 3 cm la distanza di Harmon sopramenzionata. La distanza di lettura invece, è semplicemente la distanza alla quale il soggetto legge o lavora.

Una postura ideale è definita come la distanza riflessa di lettura che corrisponde o è a 5 cm dalla distanza di Harmon. In questo caso la binocularità è garantita anche durante un impegno visivo prolungato da vicino. Il soggetto quindi lavora massima efficacia, facilità e flessibilità.

In una postura accettabile, la distanza riflessa di lettura è inferiore alla distanza di Harmon ma superiore a quella di recupero. Anche in questo caso, la distanza riflessa di lettura è situata in una zona di binocularità consolidata.

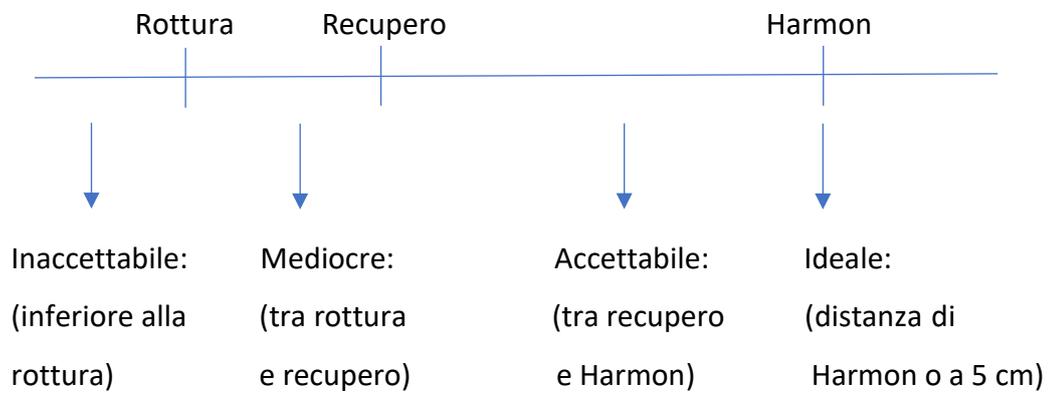
Solitamente l'uso di un paio di occhiali da vicino è spesso sufficiente a rimettere l'organismo in armonia con l'impegno visivo da vicino.

Nella postura mediocre invece, la postura riflessa di lettura si trova tra la distanza della rottura e del recupero della visione binoculare. L'organismo evidenzia una distorsione come mezzo d'adattamento allo stress del lavoro imposto e questo rappresenta una carenza d'efficienza (il soggetto si stanca prima, minore attenzione, minore performance lavorativa al videoterminale etc.).

Infine, la postura inaccettabile, si ha quando la distanza riflessa di lettura è inferiore al punto di rottura.

In questo caso, il soggetto opera in una zona di monocularità. Ciò corrisponde ad una mancanza di efficienza e porterà l'individuo ad evitare l'impegno visivo da vicino. L'equilibrio richiede un ammontare eccessivo di energia visiva e posturale. La compensazione ottimale associa l'uso di lenti o prismi ad un programma di visual training. In questo caso l'alunno, ad esempio, nonostante gli enormi sforzi non ottiene risultati positivi.

In pratica:



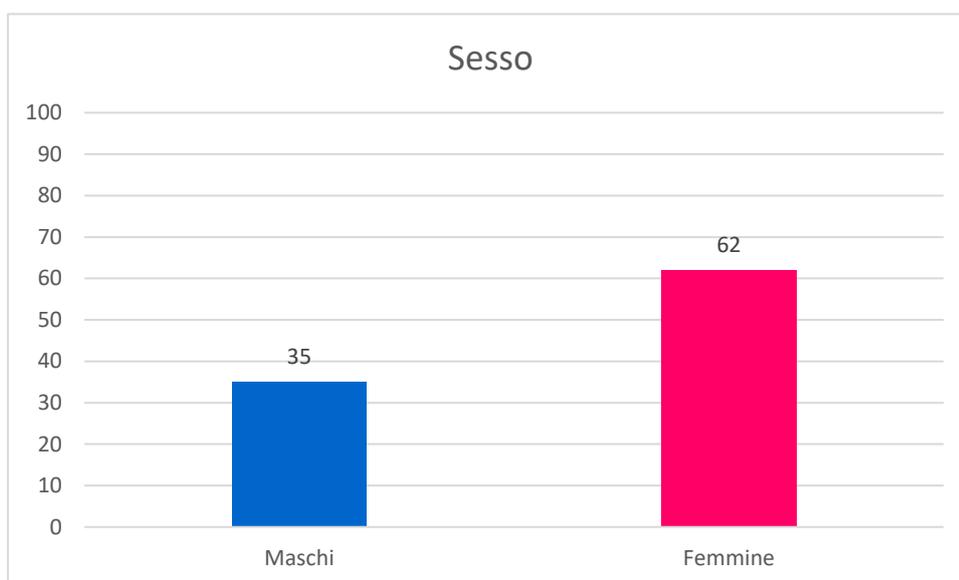


## Capitolo 4: lo studio

In questo capitolo viene descritta la modalità con cui sono stati raccolti i dati e soprattutto le analisi e le distribuzioni finali.

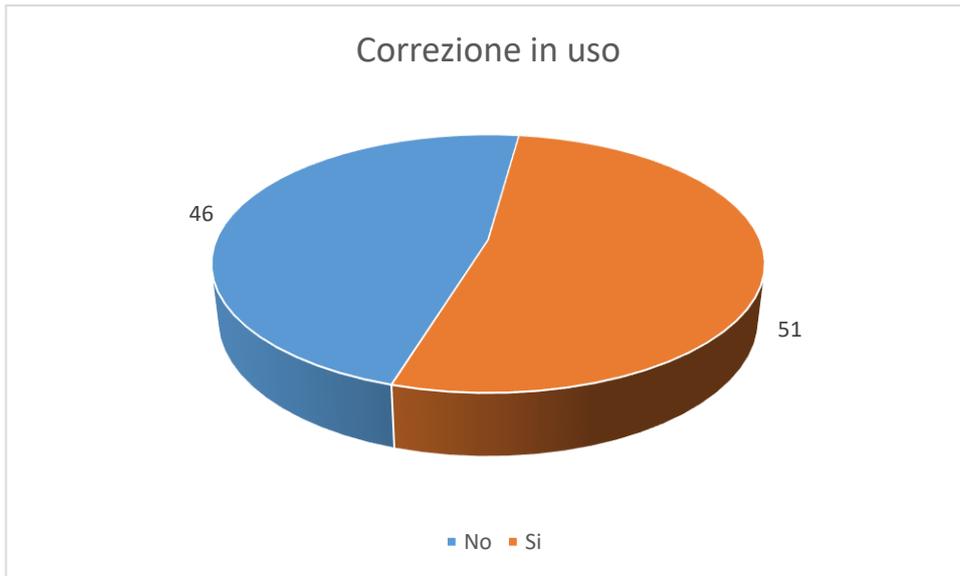
### 4.1 Raccolta dati e analisi

Il gruppo di soggetti analizzato è composto da 101 studenti frequentanti vari corsi di studio dell'università di Padova. Quattro di loro sono stati esclusi per patologie oculari (distacco di retina, ambliopia e strabismo) quindi ne sono rimasti 97. L'età è compresa tra i 18 e i 30 anni con una media di 21,7. Di questi 97 soggetti esaminati, 62 sono di sesso femminile mentre i restanti 35 di sesso maschile [figura 1].



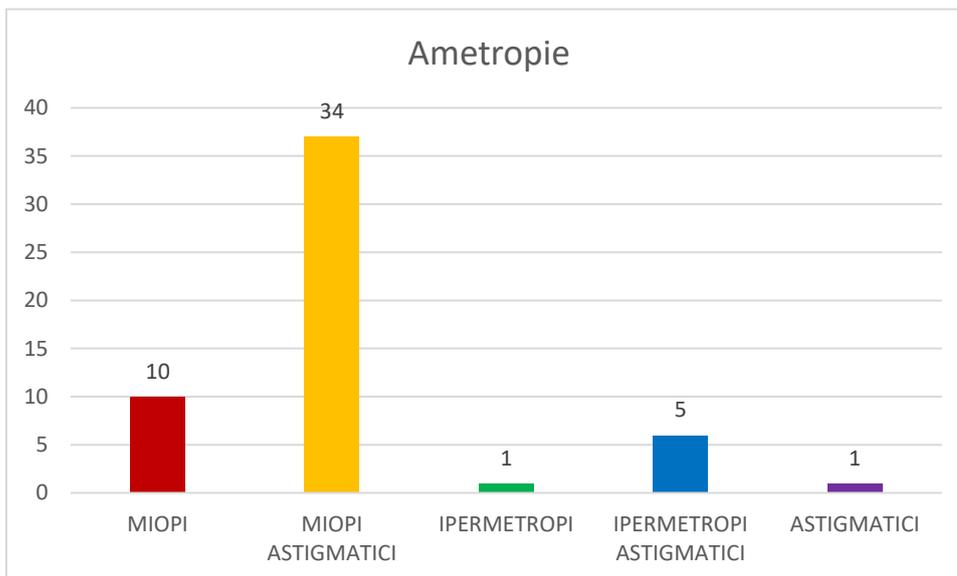
[figura 1: distribuzione dei soggetti secondo il sesso].

Dall'analisi dei 97 soggetti è emerso che 51 di loro (sia maschi che femmine) portano correzione permanente, mentre il restante 46 no [figura 2].



[figura 2: distribuzione dei soggetti secondo l'uso della correzione o meno].

I 51 soggetti con correzione sono stati suddivisi in base all'ametropia: il 19,6 % degli studenti presenta solo miopia, la maggioranza cioè il 66,7 % miopia e astigmatismo, il 2 % solo ipermetropia, il 9,8 % sono ipermetropi e astigmatici e infine il 2 % solo astigmatismo. [figura 3].



[figura 3: distribuzione delle ametropie dei 51 soggetti con correzione].

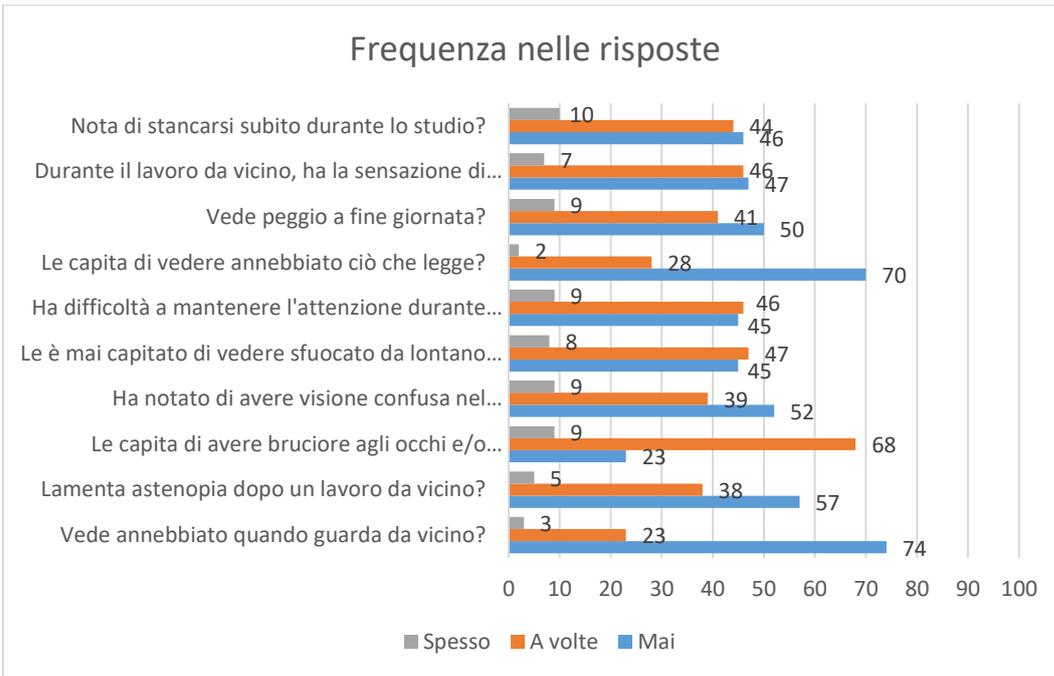
Ai soggetti è stato consegnato un questionario con dieci domande da completare riguardanti principalmente il meccanismo accomodativo e a ogni domanda è stato chiesto loro di scegliere la frequenza: MAI, A VOLTE o SPESSO.

Le domande proposte sono le seguenti:

- 1) Vede annerchiato quando guarda da vicino?
- 2) Lamenta astenopia dopo un lavoro da vicino?
- 3) Le capita di avere bruciore agli occhi e/o lacrimazione?
- 4) Ha notato di avere visione confusa nel passaggio dal vicino al lontano?
- 5) Le è mai capitato di vedere sfuocato da lontano dopo la lettura?
- 6) Ha difficoltà a mantenere l'attenzione durante la lettura?
- 7) Le capita di vedere annerchiato ciò che legge?
- 8) Vede peggio a fine giornata?
- 9) Durante il lavoro da vicino, ha la sensazione di "sforzare" gli occhi?
- 10) Nota di stancarsi subito durante lo studio?

Domanda n.	Numero di risposte mai	Numero di risposte a volte	Numero di risposte spesso
1	72	22	3
2	56	37	4
3	22	67	8
4	51	38	8
5	44	46	7
6	44	45	8
7	69	27	1
8	49	40	8

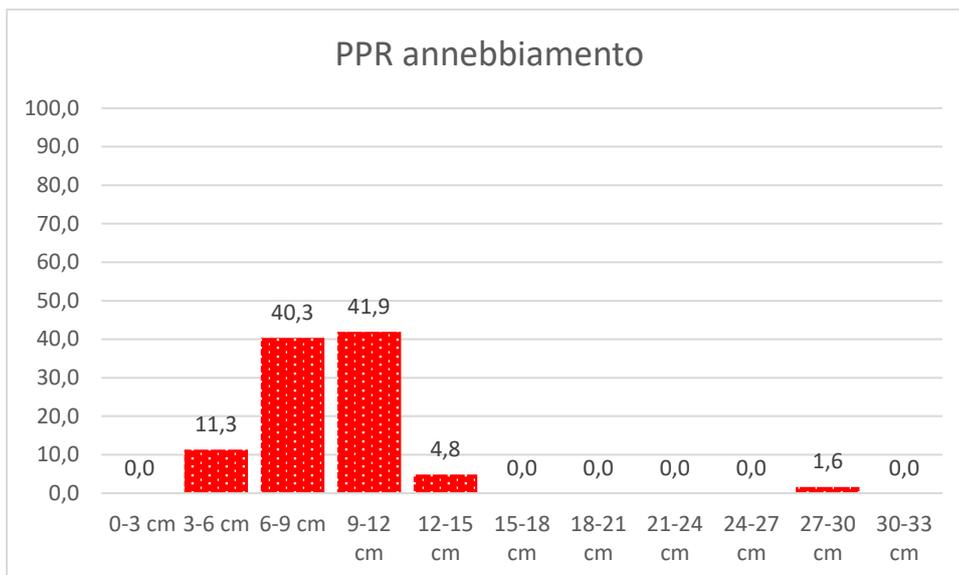
9	46	45	6
10	45	43	9



[figura 4: frequenze percentuali nelle risposte spesso, a volte e mai dei 97 soggetti alle dieci domande].

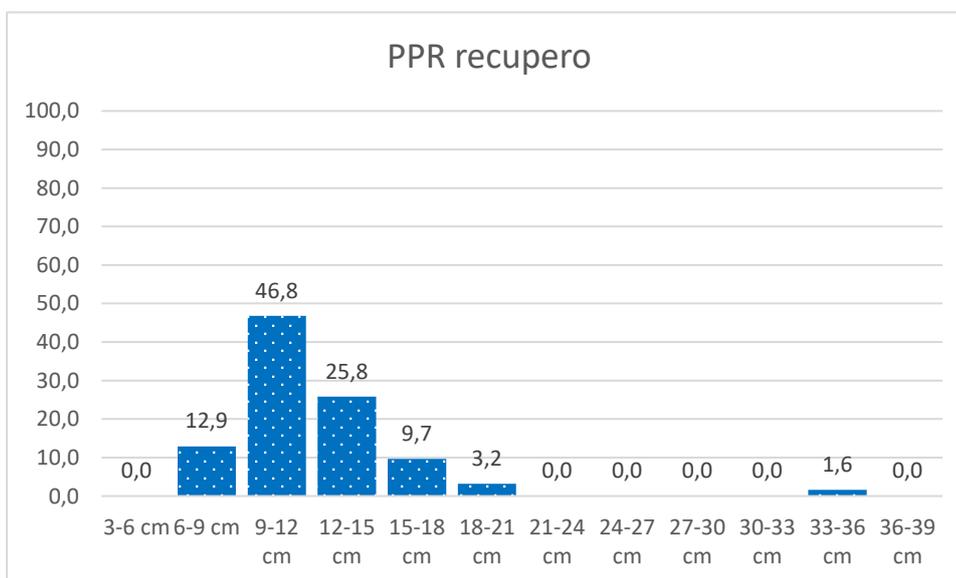
In seguito sono stati valutati vari aspetti della capacità accomodativa degli studenti e quindi dell'intero gruppo di soggetti analizzati (97) ne sono stati esclusi 35 per un valore di AC/A troppo basso o troppo alto (valori di norma preso in considerazione  $4 \pm 2$ ). I soggetti rimanenti con le caratteristiche adeguate sono quindi 62.

Per quanto riguarda il punto prossimo di annebbiamento, si può notare dalla figura n. 5 che la grande maggioranza della popolazione nota lo sfuocamento del testo, in particolare della riga 0,62, ad una distanza che va dai 6 ai 12 cm. Si può affermare che i risultati ottenuti sono soddisfacenti in quanto entro questo range di valori è collocata la norma da tenere di riferimento (8 cm).



[figura n. 5: risultati in percentuale del punto prossimo di accomodazione nel primo step dell’annebbiamento].

Per il punto di recupero, i risultati ottenuti [figura 6] sono ancora più regolari, rispettano infatti pienamente la norma dei 10 cm.

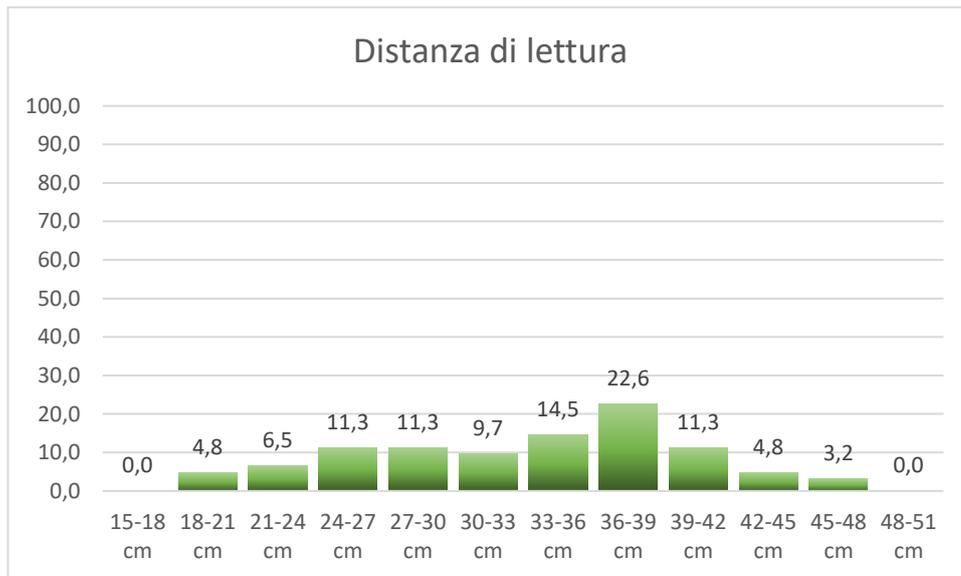


[figura 6: valori percentuali del punto di rottura accomodativo]

Per calcolare questi e i successivi valori, sono stati inseriti in diversi fogli Excel tutti i dati raccolti per ciascun argomento di valutazione. Per ognuno poi sono stati

calcolati i minimi, i massimi, la media, la deviazione standard e le ampiezze. Per i grafici in modo particolare, anche le frequenze assolute, frequenze percentuali e le classi affinché la suddivisione dei valori risulti equa.

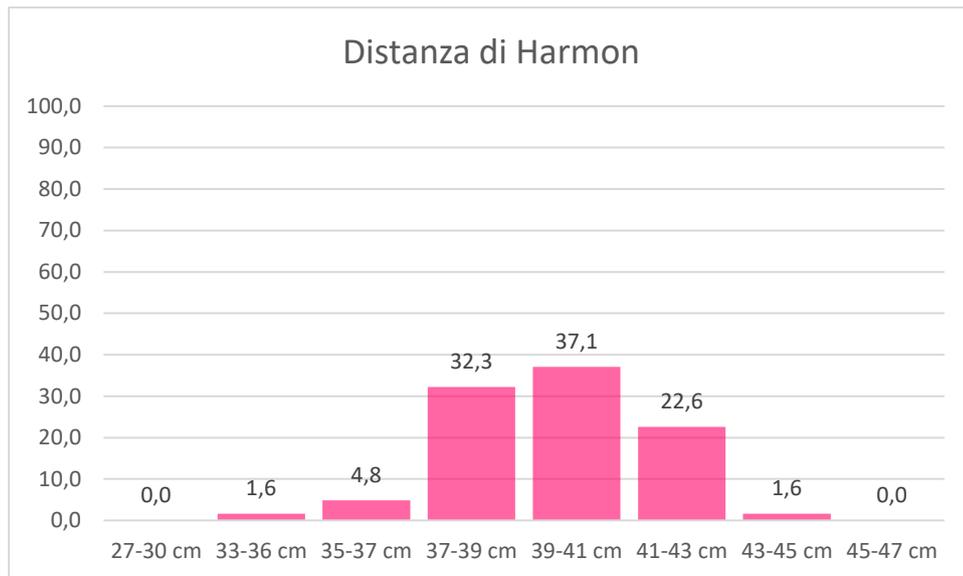
In seguito ai soggetti è stata misurata, con un semplice metro da sarta, la distanza di lettura e la distanza di Harmon.



[figura 7: valori percentuali delle distanze di lettura in cm].

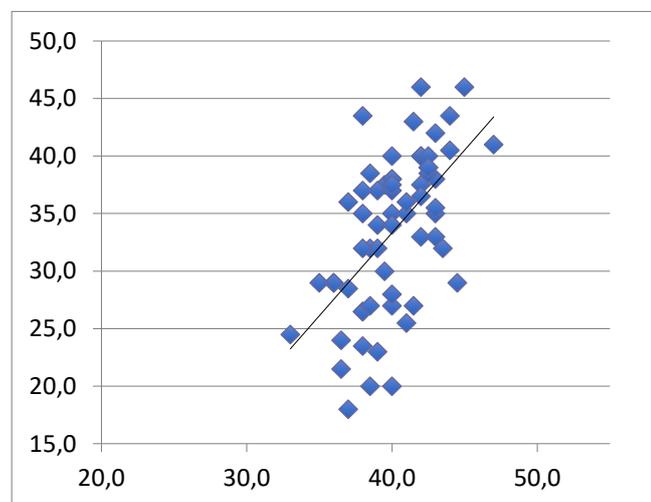
Dalla figura n. 7 si vede infatti che il 22,6 % dei soggetti legge in questa fascia ed ha quindi una distanza di lettura ideale in quanto questa si avvicina alla distanza di Harmon.

La distanza di Harmon viene appunto presa come riferimento e corrisponde a 40 cm. Nella figura n. 8 si può notare che questa distanza viene rispettata nella maggioranza degli studenti.



[figura n. 8: il picco rispetta pienamente la norma dei 40 cm].

Molto interessante è, a questo proposito, andare a indagare la correlazione tra la distanza di lettura e la distanza di Harmon (figura 9):

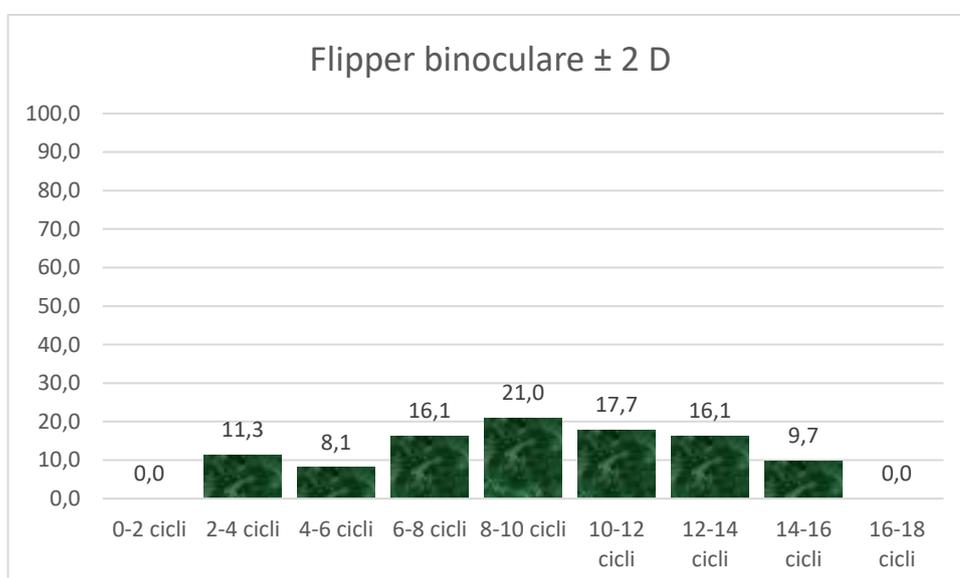


[figura 9: correlazione tra i 62 dati della distanza di lettura e della distanza di Harmon]

Il coefficiente di correlazione, in questo caso, è pari a  $0,57 \pm 0,13$  e la distanza dallo zero ( $r=0$ ) è pari a 4,4 sigma. Si può quindi affermare che esiste una buona correlazione tra i dati delle due distanze in quanto  $r \neq 0$ . Nel momento in cui invece  $r$  fosse risultata esattamente uguale a 0, in quel caso non sarebbe risultato nessun

tipo di correlazione. Le due serie di dati, infatti, sono direttamente proporzionali e crescono linearmente fino a formare una retta. Dal punto di vista clinico questo significa che, anche se esistono valori diversi delle distanze di lettura e di Harmon nei soggetti, queste sono sempre proporzionate tra loro e soprattutto se un dato risulta alto, sarà alto anche l'altro e viceversa.

Per quanto riguarda invece la flessibilità accomodativa, gli studenti sono stati sottoposti al test dei flipper accomodativi di  $\pm 2$  D. L'esaminatore in questo caso deve sia tener conto del numero dei cicli al minuto [figura 10] che della lente con la quale il soggetto ha maggiore difficoltà.

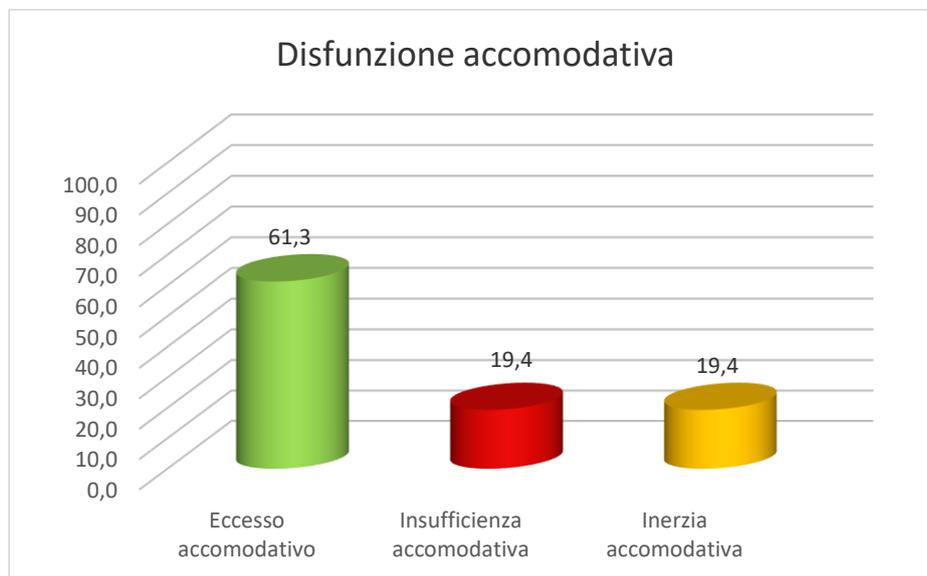


[figura 10: valori in percentuale dei cicli per minuto].

La norma di 8-9 cicli per minuto anche in questo caso è compatibile: il picco della percentuale maggiore infatti risulta proprio in quella fascia, anche se valori maggiori sono comunque positivi.

In questo caso, dato che l'obiettivo di questo studio è quantificare la distribuzione delle disfunzioni accomodative, la lente del flipper con la quale il soggetto ha più difficoltà a mettere a fuoco, il lag misurato sia alla retinoscopia che ai cilindri crociati binoculari, le ARP e ARN sono stati un valido aiuto affinché la diagnosi finale risultasse corretta.

Dalla figura n. 11 si può vedere questa distribuzione in percentuale delle disfunzioni accomodative sui 62 soggetti analizzati.



[figura n. 11: distribuzione in percentuale delle disfunzioni accomodative].

La grande maggior parte, ben il 61,3 % dei ragazzi, presenta un eccesso accomodativo. È lecito che risulti che un giovane abbia un alto valore di ARP dato che in età giovanile si ha ancora parecchia capacità accomodativa e che utilizzando lenti negative il sistema venga messo sotto sforzo ma che comunque risponda bene. Quello che è stato decisivo per arrivare alla disfunzione di eccesso accomodativo, è stato il valore dell'ARN: estremamente basso in questi soggetti. Questo risultato va leggermente in contraddizione con quanto trovato da uno studio statunitense (Scheiman, Gallaway, Coulter et al., 1996) su una popolazione di 1650 soggetti di età compresa tra 6 a 18 anni il quale ha riscontrato globalmente il 6 % di disfunzioni accomodative, di cui 2,2 % con eccesso accomodativo, 1,5 % con inerzia accomodativa e 2,3 % con insufficienza accomodativa. Questi esiti sono giustificati dal fatto che in vent'anni le abitudini dei ragazzi sono estremamente cambiate: all'aumento di miopia di pari passo aumentano anche le anomalie accomodative.



## Capitolo 5: Discussione e conclusione

La visione, è un sistema complesso la cui realizzazione necessita dell'interrelazione tra diverse strutture quali l'occhio, il sistema nervoso centrale e periferico. Definire, infatti, la visione come ciò che permette di "vedere" risulta estremamente riduttivo, in quanto la perfetta correlazione di tutte le strutture impegnate nel meccanismo della visione consente sia di realizzare la tridimensionalità e quindi l'orientarsi nello spazio, sia di percepire il movimento e quindi di modulare gli spostamenti del corpo a seconda delle necessità. Appare chiaro, quindi, come la vista sia un bene preziosissimo da preservare in quanto un suo deficit ha ripercussioni negative sulla sfera personale e sociale. I più frequenti "ostacoli" (escludendo ovviamente le patologie oculari) per una visione nitida e confortevole sono le ametropie e le disfunzioni binoculari e accomodative. Dallo studio condotto su un campione 97 studenti universitari è emerso che ben 51 di loro porta correzione permanente e la maggior parte di loro, 66,7 %, è risultata sia miope che astigmatica. Questi risultati sono coerenti con i valori di altri studi e ricerche svolte in campioni di soggetti con intere popolazioni numerose, come quelle di Tshering, Scheiman, Graham e dell'Università di Cambridge.

Per quanto riguarda l'analisi delle funzioni accomodative, i diversi test sono stati somministrati a 62 soggetti ovvero soltanto a coloro che avevano un valore di AC/A nella norma, escludendo quindi valori troppo alti o troppo bassi questo perché nel momento in cui una persona presenta un valore di AC/A non nella norma, in quel caso saranno molto più rilevanti anomalie di tipo binoculare che non accomodativo.

La maggioranza dei soggetti, 21%, presenta una flessibilità accomodativa che combacia con la norma di 8-9 cicli al minuto (Scheiman e Wick, Analisi visiva integrata) anche se valori simili ma di poco discostanti si ritrovano sia prima (quindi meno di 8-9 cicli al minuto) che dopo (quindi più di 8-9 cicli al minuto).

È stato valutato anche l'intervallo di visione nitida attraverso il punto prossimo di accomodazione, in questo caso più utile del punto prossimo di convergenza. In

generale il campione valutato non presenta anomalie perché le norme rispecchiano o addirittura sono superiori ai valori medi attesi degli studi considerati (Harmon), questo associato all'ottima postura e all'assenza di sintomi. Affinché questo sia confermato sono state valutate sia distanza di lettura che distanza di Harmon: la maggior parte dei soggetti, 22,6 %, presenta una distanza di lettura ideale e il 37,1 % una distanza di Hamron accettabile. Entrambi i picchi sono risultati nella norma con i valori presi di riferimento (Harmon) anche se in questo caso pochi centimetri di differenza possono causare al sistema visivo non poco sforzo accomodativo in più. Per quanto riguarda le anomalie accomodative, il 61,3 % dei ragazzi presenta un eccesso accomodativo. Questo risultato è decisamente maggiore di quello riscontrato da Scheiman, Gallaway, Coulter et al. nel 1996 in una popolazione di 1650 soggetti. Sarebbe risultato strano però il risultato inverso: ossia che la maggior parte di loro avesse un'insufficienza accomodativa. A questa categoria di disfunzioni appartiene il 19,35 % degli studenti e sono caratterizzati da un alto valore di lag accomodativo, un alto valore del punto prossimo di accomodazione (quindi più lontano) e avevano difficoltà con la lente negativa. Le ARP erano basse e le ARN invece alte. Si potrebbe provare a evitare di prescrivere occhiali, procedendo con un programma di VT con l'utilizzo di flipper di vario potere (da +2.00/-2.00 a +2.50/-8.00), l'hart chart e il mental minus per aumentare la flessibilità accomodativa monoculare prima e binoculare dopo e migliorare quindi la rapidità di messa a fuoco.

Infine, per quello che riguarda le inerzie accomodative, i valori principalmente tenuti in considerazione sono stati quelli del flipper  $\pm 2$  D: un valore minore di 8 cicli al minuto indica chiaramente che il soggetto ha difficoltà sia a stimolare che a rilassare il sistema accomodativo. Il tutto è stato rafforzato, anche in questo caso, dai valori delle ARP e ARN. Uno studio effettuato presso l'Università degli Studi di Padova e varie accademie, come la Sport Vision Accademy e l'Accademia Europea di Sports Vision, hanno confermato l'efficienza del VT: alla fine del trattamento i soggetti hanno riportato un miglioramento della flessibilità accomodativa permettendo loro di acquisire una maggior padronanza del proprio sistema accomodativo e un maggior benessere a livello visivo in generale.

L'accomodazione è senza dubbio una parte molto importante del nostro sistema visivo, pertanto deve essere valutata e stimolata correttamente, facendo particolari attenzioni ai piccoli gesti come la distanza alla quale leggiamo. Chi si occupa dei problemi visivi delle persone è chiamato a valutare anche aspetti posturali, illuminotecnici, psicologici e cognitivi se vuole fornire un aiuto efficace alle persone che, vivendo in una società tecnologicamente avanzata, sono quotidianamente chiamate a stressanti condizioni di vita e di lavoro (Reed, 1994). Con questo elaborato si è cercato di mettere in evidenza l'importanza di esaminare anche il sistema accomodativo, oltre naturalmente alla refrazione, alla visione binoculare e alla motilità oculare. È ormai chiaro che il professionista della visione non può valutare soltanto le ametropie, limitandosi a essere il freddo controllore dei valori refrattivi e fornendo una soluzione prescrittiva tratta da rigide regole matematiche e fisiche (10/10). L'area accomodativa fa parte della seconda area del modello visivo di Scheiman e Wick. L'attenta verifica e valutazione dell'area accomodativa è finalizzata a individuare deficit e anomalie dell'accomodazione, che hanno una ricaduta negativa prevalentemente nell'attività scolastica (lettura, scrittura) e occupazionale (PC, attività a distanza ravvicinata). Il loro trattamento avviene dapprima compensando eventuali ametropie, quindi fornendo lenti specifiche per l'attività prossimale e infine, quando necessario, effettuando una terapia visiva appropriata.



## Capitolo 6: appendici

- Questionario d'indagine

N	DOMANDA	MAI	A VOLTE	SPESSO
1	Quando guida, fatica a distinguere i cartelli stradali?			
2	La luce del sole le provoca bruciore e sensazione di abbagliamento?			
3	Prova fastidio visivo dopo aver praticato sport?			
4	Ha difficoltà a copiare dalla lavagna?			
5	Ha notato di vedere male con uno dei due occhi?			
6	Vede annebbiato quando guarda da vicino?			
7	Le capita di vedere doppio quando osserva un oggetto da vicino?			
8	Lamenta astenopia (mal di testa, nausea, confusione) dopo un lavoro da vicino?			
9	Le capita di avere bruciore agli occhi e/o lacrimazione?			
10	Ha notato di avere visione confusa nel passaggio dal vicino al lontano?			
11	Le è mai capitato di vedere sfuocato da lontano dopo la lettura?			
12	Ha difficoltà a mantenere l'attenzione durante la lettura?			
13	Le capita di inclinare il capo mentre osserva gli oggetti?			

14	Le capita di vedere annerito ciò che legge?			
15	Vede peggio a fine giornata?			
16	Durante il lavoro da vicino, ha la sensazione di “sforzare” gli occhi?			
17	Nota di stancarsi subito durante lo studio?			
18	Le capita di non vedere la distanza tra gli oggetti?			
19	Le capita di chiudere un occhio durante la lettura?			
20	Durante la lettura, “salta” alcune parole?			
21	Le capita di non riuscire ad allineare cifre e/o colonne numeriche?			
22	Riesce facilmente a comprendere quello che legge?			
23	Durante la lettura, le capita di avvicinare il foglio al viso?			
24	Le capita di non riuscire a mantenere l’attenzione durante un impegno visivo a distanza prossimale?			
25	Pensa di essere goffo nei movimenti?			
26	Le capita di leggere più volte la stessa riga?			

- Nel complesso, si ritiene soddisfatto della sua performance visiva?

---

## • Norme di riferimento

RISULTATI ATTESI [di riferimento] NEI TEST BINOCULARI E SULL'ACCOMODAZIONE  
(adottati da Scheiman e Wick, 2002)

Test	Risultati attesi	Deviazione standard
[Deviazioni] Cover test o altra tecnica: - Foria laterale da lontano - Foria laterale da vicino	1Δ exoforia 3Δ exoforia	±2 ±3
Rapporto AC/A [gradiente, mira prossimale]	4/1 Δ/D	±2
Test di vergenza [relativa/fusionale] 1) Lontano - Δ base esterna - Δ base interna 2) Vicino - Δ base esterna - Δ base interna	Sfuocamento:9 Rottura:19 Recupero:10 Rottura:7 Recupero:4 Sfuocamento:17 Rottura:21 Recupero:11 Sfuocamento:13 Rottura:21 Recupero:13	±4 ±8 ±4 ±3 ±2 ±5 ±6 ±7 ±4 ±4 ±5

Punto prossimo di convergenza - target accomodativo - penna luminosa	Rottura: 5 cm Recupero: 10 cm Rottura: 7 cm Recupero: 10 cm	±2,5 ±3 ±4,0 ±5,0
Ampiezza Accomodativa - Push-up/pull away - Lenti negative allo sfuocamento	18 - 1/3 · età 2D < push-up/pull away	±2D
Facilità accomodativa Monoculare 1) Bambini -sei anni -sette anni -da 8 a 12 anni 2) Adulti -da 13 a 30 anni -da 30 a 40 anni	[flipper ±2D, cpm=cicli per minuto] 5,5 cpm 6,5 cpm 7,0 cpm 11,0 cpm (non quantificato)	±2,5 ±2,0 ±2,5 ±5,0

AA 2009/2010 – Docente A. Rossetti, OD (trascrizione dr. Mirko Chinellato)

## • Scheda dati

Soggetto n° \_\_\_\_\_

Sogg. n. \_\_\_\_\_

Età \_\_\_\_\_

Sesso \_\_\_\_\_

Professione \_\_\_\_\_

Rx \_\_\_\_\_

OD \_\_\_\_\_

OS \_\_\_\_\_

P. p. di rendimento	Annebbiamento	Recupero v.n.

Ampiezza accomodativa mono (>5,00D)	OD	OS

Accomodazione relativa positiva (-2,50 D)	

Accomodazione relativa negativa (+2,00 D)	

Flipper $\pm 2$	Cpm _____ Piu' lento con la lente _____

Lag retinoscopia	

Lag cilindri crociati binoculari	

<b>Distanza di lettura</b>	
<b>Distanza di Harmon</b>	

## Bibliografia

- Birnbaum M.H.; Optometric Management of Nearpoint Vision Disorders, Butterworth-Heinemann, 1993.
- Bucci M., Oftalmologia, SEU Editore (società editrice univers), 1993.
- Faini M., Lezioni di Optometria, Assopto Milano Acofis, Milano, 2001.
- Fonte R., L'analisi funzionale nello spazio libero, in Rivista Italiana di Optometria, vol. 28/2, 2005.
- Formenti M.; Dispense corso Tecniche fisiche per l'optometria 2: "L'esame visivo optometrico"; Università degli Studi di Padova – Corso di laurea in Ottica e Optometria; A.A. 2015/2016.
- Formenti M.; Dispense corso Tecniche fisiche per l'optometria 2: "Analisi Visiva Integrata"; Università degli Studi di Padova – corso di laurea in Ottica e Optometria; A.A. 2015/2016.
- Grigoletto R.; Il controllo della miopia; PO Professional Optometry; gennaio 2014.
- Grosvenor T., Primary care optometry, Butterworth Heinemann, Boston, 2002.
- Hofstetter H.W., Griffin J.R., Berman M.S., Everson R.W., Dictionary of visual science and related clinical terms; Ed. Butterworth-Heinemann; V ed.; 2000.
- Kading D. e Mayberry A.; Slowing myopia progression in children; Review of Optometry; Novembre 2012.
- Lee Ann Remington; Clinical Anatomy and Physiology of the Visual System Third Edition, 2012.
- Lupelli L., Optometria A-Z, Medical Books Editore, 2014.
- Lupi V.; Lezioni di anatomia e fisiopatologia oculare per studenti di Optometria, Fabiano Editore, 2004.
- Maffioletti S., La verifica e la valutazione optometrica dell'attività visiva prossimale, in Rivista Italiana di Optometria, vol. 27/1, 2004.
- Maffioletti S., Ruggeri L., Rilevazione, registrazione e corretta valutazione dell'acutezza visiva, Assopto Milano Acofis, Milano, 2004.

- Maffioletti S.; Piacentini I.; Le abilità accomodative nell'analisi visiva integrata (AVI), Mondo dell'Ottica.
- Manitto M.P., Maffioletti S., Dagli occhi al cervello: il percorso della visione, in Il bambino e le abilità di lettura: il ruolo della visione, a cura di Maffioletti S., Pregliasco R., Ruggeri L., FrancoAngeli, Milano, 2005.
- Ortolan D., Dispense corso Ottica oftalmica e visuale – corso di laurea in Ottica e Optometria, A.A. 2014/2015.
- Paliaga G.P., L'esame del visus, Edizioni Minerva Medica, Torino, 1991.
- Rossetti A., Gheller P., Manuale di optometria e contattologia, II ed. Zanichelli Editore, Bologna, 2003.
- Scheimann M.; Herzberg H.; Frantz K.; Margolies M.; Normative Study of Accommodative Facility in Elementary Schoolchildren, 1988.
- Scheimann M., Rouse M. W., Optometric Management of Learning-related Vision Problems, Elsevier Health Sciences, 2006.
- Scheimann M., Understanding and Managing Vision Deficits: A Guide for Occupational Therapist, SLACK, 2011.
- Schiemann M., Wick B., Clinical Management of Binocular Vision: Heterophoric, Accommodative, and Eye Movement Disorders, Editore: Lippincott Williams and Wilkins; 4 Pap/Psc edizione 1 agosto 2013.
- Steinman B., Garzia R., Foundations of Binocular Vision: A Clinical Perspective, McGraw Hill Professional, 17 lug 2000.
- Yothers T.; Wick B.; Morse S.E.; Clinical testing of accommodative facility: development of an amplitude - scaled test, Optometry 2002.

## Ringraziamenti

Confesso che se scrivere la tesi è stato difficile, scrivere i ringraziamenti non è da meno.

Desidero ringraziare anzitutto l'Università degli Studi di Padova e in particolare i professori di Ottica e Optometria per aver creduto in questo corso, in noi studenti e, in particolare, per avermi insegnato in questi anni le cose più importanti per il mio futuro e per avermi trasmesso la loro passione per questo lavoro.

Inoltre i più importanti ringraziamenti vanno a mio papà e mia mamma per aver insistito affinché cominciassi l'università: è stata la scelta più rilevante della mia vita, ma anche la più bella con annessi gioie e non pochi sacrifici; ma anche e soprattutto per essermi stati vicini e per avermi donato quel pizzico (a loro dire abbondante) di ostinazione in tutto ma che in casi come questo aiuta a non mollare.

Ringrazio i miei parenti sparsi un po' in giro perché anche se da lontano, il loro sostegno mi è arrivato.

Un ringraziamento speciale va anche ai miei amici, per essere stati sempre presenti nei momenti di difficoltà ma anche e fortunatamente in quelli di allegria e felicità e per avermi incoraggiato quando tutto sembrava perduto. Ringrazio la mia cara amica di infinite confidenze e avventure e i miei due colleghi, molto più amici che colleghi, per aver trascorso questi ultimi mesi assieme e per il sostegno dimostratomi in ogni momento. È anche grazie a loro se sono arrivata a questo importante traguardo. Vi voglio bene.